“亚洲水塔”在高亚地区的社会经济作用

王晓明[1*]　张靖琳[1,2]　刘世伟[1,2]　李晨毓[1,2]　孔伟明[1,2]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院 冰冻圈科学国家重点实验室　兰州　730000

2 中国科学院大学 北京 100049

摘要　“亚洲水塔”是高亚地区及其下游人类活动重要的水源，产生了重要的社会经济效应，在区域经济发展中起着举足轻重的作用。文章阐述并列举了“亚洲水塔”在高亚地区的社会和经济效应，不仅给经济发展如地区农业带来巨大的效益，同时，因其产生的水资源在高亚干旱地区具有稀缺性，亦会带来潜在资源冲突。气候变化的影响会进一步带来不确定性，由此导致的“亚洲水塔”退化将从根本上改变高亚地区的未来经济发展。应对和适应变化、建立可持续发展路径应是当务之急。文章进一步阐述了高亚地区国家层面上优先关注的联合国2030年可持续发展目标，以及“亚洲水塔”冰冻圈服务和实现可持续发展目标的联系。

关键词　亚洲水塔，高亚地区，社会经济影响，可持续发展目标

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2019.11.016

1 高亚地区和“亚洲水塔”

除格陵兰冰盖和南极外，全球受冰川补给的流域面积占据了陆地表面的26%，生存着全球1/3的人口[1]。在青藏高原、帕米尔高原和喜马拉雅山的高亚地区一带发育了大量的冰川；同时，积雪和高原湖泊以及高原与大气的相互作用[2]使这里发育了大量的河流，因此青藏高原及其周边地区被称为“亚洲水塔”。“亚洲水塔”不仅是印度河、雅鲁藏布江和恒河等著名河流的发源地（图1），也是这些河流下游地区约20亿人生产生活的重要水源。

“亚洲水塔”在国内涉及塔里木内陆河流域、长江流域、黄河流域，跨越国界的萨尔温江（怒江）流域、湄公河（澜沧江）流域、伊洛瓦底江（独龙江）流域、布拉马普特拉河（雅鲁藏布江）流域，以及中亚和南亚的阿姆河流域、印度河流域和恒河流域。高

*通讯作者

资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA20100305），国家自然科学基金委重大项目（41690141），中国科学院率先行动“百人计划”学术帅才项目（A类）

修改稿收到日期：2019年10月14日

亚地区也是我国西部通往中亚和西亚“丝绸之路经济带”的重要连接点，在国际区域经济合作中具有重要的战略地位。

高亚地区的人口密度分布充分体现了人类活动对“亚洲水塔”的高度依赖性（图 2）。我国的长江和黄河、印度和巴基斯坦的恒河和印度河皆起源于“亚洲水塔”，这些流域聚集了很多人口密度在 1 万人/平方公里或超过 1 万人/平方公里的地区。在这些流域内，2015 年总人口多达 17 亿①。另外根据已有的数据②，2005 年相关流域国内生产总值（GDP）就已高达 7 万亿美元[3]。新的数据表明，2015 年以购买力平价衡量的流域 GDP 达到了 12.7 万亿美元③。

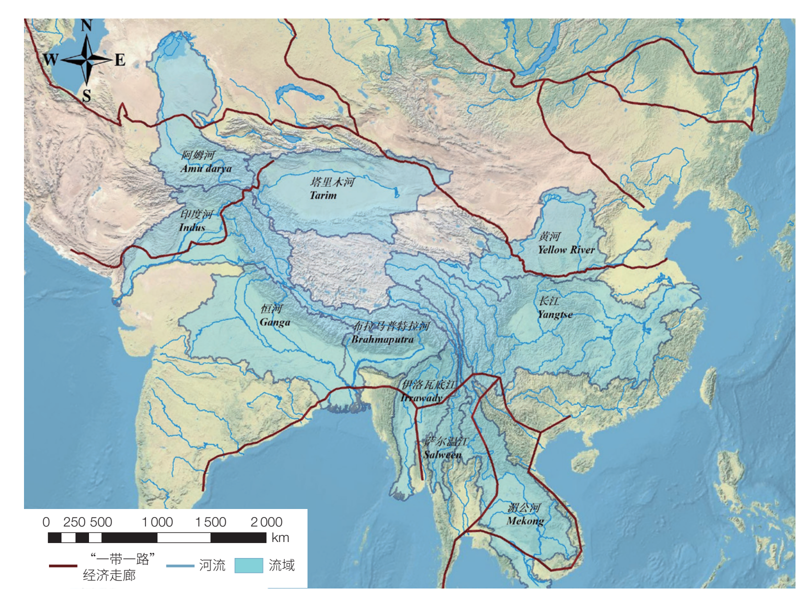


图 1　高亚地区流域和冰川分布以及“一带一路”经济走廊

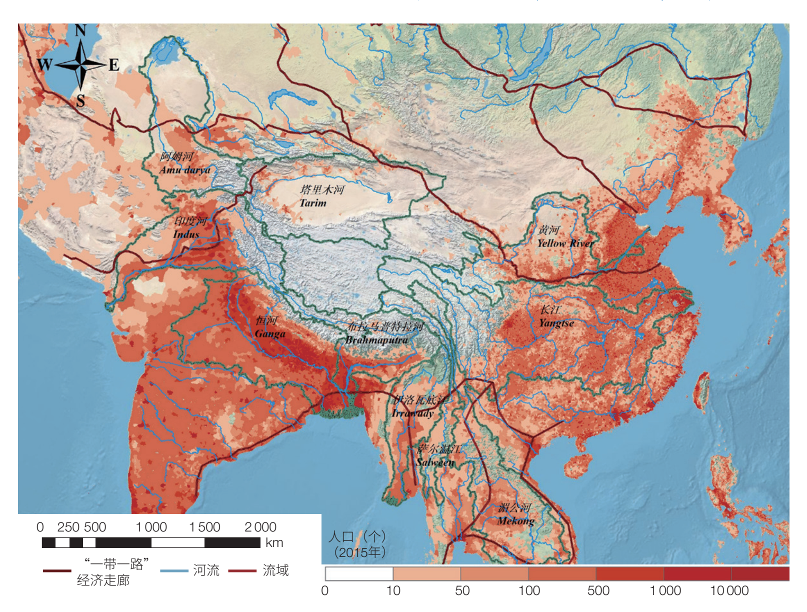


图 2　高亚地区的人口分布及和冰川融水的相关性

为了预估未来社会经济发展的趋势，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出了与气候变化相关的 5 种未来经济发展情景，即共享社会经济路径（Shared Socio-economic Pathways，SSPs），用于描述气候变化与社会经济要素之间的相互关系，以及不同的社会经济发展道路所面临的气候变化适应与减缓的挑战[4,5]。图 3 描述了在 5 种 SSPs，即可持续路径（SSP1）、中间路径（SSP2）、区域竞争路径（SSP3）、不均衡路径（SSP4）和化石燃料为主的发展路径（SSP5）下，高亚地区的人口和 GDP 发展所表现出的不同情况。除 SSP3 情境外，其他情景下这些流域的总人口将在 2050 年左右达到峰值，较 2010 年将增加 1.7—3.6 亿④，年总 GDP 将增

① 结果由格点数据估算，数据来源 Documentation for the Gridded Population of the World，Version 4，https://doi.org/10.7927/H4B56GPT。

② 结果由格点数据估算，数据来源 Global Gridded Geographically Based Economic Data (G-Econ)，Version 4，http://dx.doi.org/10.7927/H42V2D1C. 2005 年后数据未更新。

③ 结果由格点数据估算，数据来源 Data from: Gridded global datasets for Gross Domestic Product and Human Development Index over 1990-2015，https://doi.org/10.5061/dryad.dk1j0。

④ 共享社会经济路径中，2010 年的人口为 13.4 亿。

⑤ 共享社会经济路径中，2010 年的 GDP 为 8.7 万美元，未来变化按 2010 年现值计算。

加31.8—70.5万亿美元⑤。

我国因发育了亚洲大部分的主要国际河流而成为全球最重要的上游水道国。其中，“亚洲水塔”产生的水资源在高亚地区显示出极大的共享性（图4），我国对高亚地区国际河流的合理利用与保护，直接关系到所涉及流域国家间的区域合作及共同发展。

2 “亚洲水塔”变化

在全球变暖的气候变化背景下，山地冰川持续退缩将影响地表径流，从而对流域下游的水资源需求造成影响。研究表明，在1.5℃温升条件下，“亚洲水塔”冰川冰储量在21世纪末将减少37%，在典型浓度排放路径（RCP）4.5、RCP6.0和RCP8.5的碳排放情景下，“亚洲水塔”地区将分别有49%、51%和64%的冰川消失[6]。

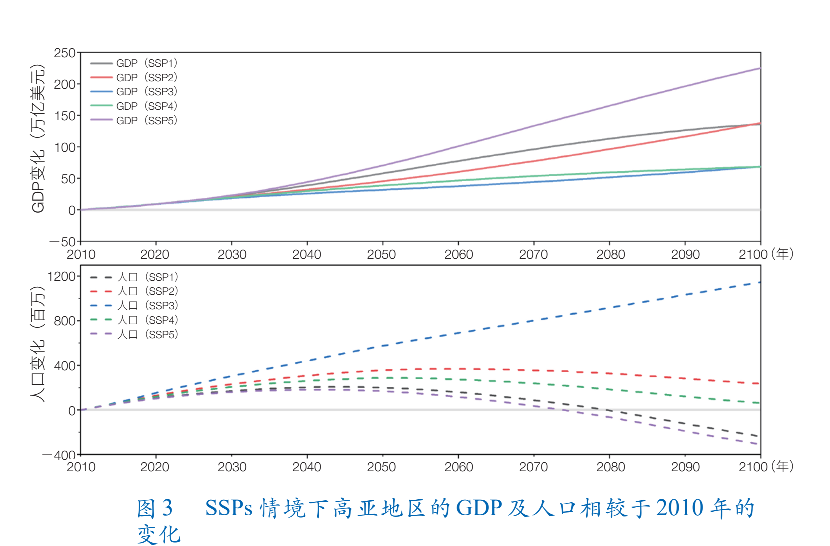


图3　SSPs情境下高亚地区的GDP及人口相较于2010年的变化

图4　中国主要跨界流域及国际河流分布

冰川变化将导致年径流变化减少。在全球受冰川补给的河流流域中，有一半流域的年冰川径流已经达到或即将达到峰值；也就是说，这些流域的冰川径流已经发生减少或接近“拐点”，未来会呈现持续减少的态势[7]。“亚洲水塔”冰川规模较大，即使目前该地区的地表径流与冰川径流都在持续增加[8]，但大多数冰川径流将在2050年前出现“拐点”，在2070年后所有冰川径流都将出现“拐点”[7-9]。到2090年，相较于2000年，该地区流域因冰川径流减少将导致年地表径流减少5%—30%不等，其中印度河流域、塔里木河流域、咸海流域和巴尔喀什湖流域的年地表径流将减少30%[7]。

冰川变化导致的月径流变化同样显著。在RCP4.5的碳排放情境下，“亚洲水塔”供给的江河流域的月冰川径流将发生显著变化。总体上看，冰川径流在21世纪前半叶将普遍增加，后半叶普遍下降。就特定月份，每年6月冰川径流都将显著增加，受影响较小的伊洛瓦底江将增加10%左右，而受影响最大的印度河流域、咸海流域、巴尔喀什湖、伊塞克湖、黄河流域、塔里木河流域将增加50%以上；在21世纪前半叶，每年7—9月冰川径流将变化较为平稳，而在21世纪后半叶，每年7—9月冰川径流较21世纪前半叶将显著减少，其中每年的8月份大多数流域的冰川径流较前半叶减少量可达到20%。在21世纪前半叶，每年的10月份各流域冰川径流都将增加，其中印度河流域能增加60%以上，而21世纪后半叶的增加趋

势显著降低，只有印度河流域能够增加40%以上，其次塔里木河流域增加10%左右，其他流域只有略微变化[7]。因冰川变化导致河流月径流变化，将显著影响下游的水资源规划和调度，导致生活在下游的居民需要在初夏存储更多的水来满足夏末的水资源需求。

3 “亚洲水塔”在高亚地区的作用

3.1 “亚洲水塔”为高亚地区提供水资源

随着“亚洲水塔”流域的人口和经济规模的不断增加，可靠而稳定的水资源供应越来越关键。冰川作为“亚洲水塔”固体水资源，在高亚地区水经济和安全中的作用也将愈发重要。

冰雪融水对于下游地区农业的影响最为深远，冰雪融水为印度河流域和恒河流域1.3亿农业人口提供生产用水，这些冰雪水资源相当于每年3 800万人口的粮食用水需求[10]。其中，印度河流域仅冰川融水就占到年地表径流的40.6%[11]，在印度季风来临前可满足印度河流域60%的农业用水[10]。预计在2050年之前，冰川径流仍将持续增加，未来达到融水“拐点”以后，因冰川退缩导致的地表径流减少必将对这些地区的生产、生活造成重大影响。

按Prichard的近期研究表明[12]，高亚地区一半以上区域的水资源压力被划定为中等到极高程度，并且压力仍在增加，这种情况在半干旱的巴基斯坦尤为显著。巴基斯坦的印度河流域有着全世界最大的农业灌溉系统，目前巴基斯坦已经抽取了河道内95%的流量来供养周围2.37亿人口[13]。即便如此，仍不能满足高强度的水资源密集型经济。与此同时，巴基斯坦人口每年以超过300万的数量在增加，能源需求以每年8%的速度在增长[13,14]；预计到2025年，巴基斯坦用水需求将达到1 030亿立方米[15]，超过供应量的44%。

水资源短缺导致一些地区遭受严重干旱灾害。由于人类对水资源的极度依赖性，干旱很容易带来不利的社会经济影响。Prichard进一步指出[12]，在过去1个世纪中，干旱作为高亚地区最具破坏性的自然灾害形式，已造成600多万人死亡，11亿人受到影响[16]。在高亚地区，周边人口对高山冰川融水高度依赖，在未来冰川退缩、人口增加和经济发展的情况下，干旱可能会造成更为严重的社会经济损失。

3.2 “亚洲水塔”为高亚地区提供水电能源

“亚洲水塔”除了能够提供生活生产用水外，同时能够提供清洁的水电能源。Prichard指出[12]，巴基斯坦1/3的电力来源于水力发电，塔吉克斯坦为2/3，而尼泊尔则达到了90%；不丹国民收入的1/4由水电能源产生[17]。因干旱导致的粮食问题和水电能源短缺，可能会引发严重的社会不稳定，包括突然和无法控制的人口迁移，以及国家崩溃或国际冲突[18]。特别是在跨境共享大量水资源的地区[15]，如阿富汗、印度、巴基斯坦、土库曼斯坦和乌兹别克斯坦供水量的29%—97%依赖于跨境河流[19]。巴基斯坦、阿富汗、吉尔吉斯斯坦和尼泊尔等国在发生干旱等气候灾害之后更容易发生武装冲突[20]。

3.3 高亚地区水资源维持的生态系统服务成本较高

水资源供应通常被认为是生态系统服务中的供给服务[21-23]；从经济学角度讲，水资源可以转化为一种自然资本投入到社会经济活动中，对于巩固和支持人类的生存和福利必不可少。

Prichard[12]指出高亚地区的水资源供应有着很高的生态系统服务外部成本，同时也有很高的成本与收入之比，是全世界最受市场成本低估的生态系统服务之一。这意味着高亚地区水资源利用的效益极低，由水资源换取的经济价值远低于对其利用过程中所产生的外部成本。放眼整个亚洲，水资源利用所产生的总收入为2 050亿美元，而其产生的总外部成本却达到6 600亿美元，大约为总收入的3倍[24]。这笔巨大的外部成本使该区域的农业、电力和公共供水极易受到纠正性价格冲击的影响。而造成价格冲击的原因，很

可能会由“亚洲水塔”的水资源改变所导致的干旱所引起。

水库建设是应对气候干旱和降水变率增加的有效措施，通过水库的调蓄功能可有效提高水资源的利用效率。Prichard 对比了南亚两个主要国家的水库建设[12]，印度的水库蓄水量可满足该国 220 天的用水；巴基斯坦则只有 30 天的用水，抵抗干旱、洪水等突发自然灾害的能力较弱[15]。除水利基础设施建设以外，高效的水资源管理政策可以有效抵御降水变率及供水波动，例如：地表水和地下水的协同灌溉等[25]。尽管如此，部分高亚地区的气象干旱可能持续数年，并且可能同时影响邻近的流域[12]。1951—2007 年的气候记录表明，咸海和印度河流域连续 3 年降水量在多年降水分布中处于 16% 低值端，而塔里木河、巴尔喀什河和恒河流域连续 2 年低于该水平[26]。咸海、伊塞克湖和巴尔喀什流域的年降水量的高度相关性使这些流域的干旱期往往同步；例如，2007 年是这 3 个流域有记录以来最干旱的一年[26]。

实际上，在未来社会经济发展时水资源供给体现出较高的脆弱性，而高亚地区所要面对的问题还远远没有解决，因此可持续发展成为当前寻求解决问题的有效途径，同时也是目前关注的热点。

4 “亚洲水塔”在高亚地区可持续发展中的作用

4.1 高亚地区的可持续发展目标

结合高亚地区各国家的资源国别评价（Voluntary National Review，VNR）[27]，可从国家层面上构建高亚地区优先关注的可持续发展目标（SDGs）。截至 2019 年，已发布 VNR 的环高亚地区国家包括：不丹、阿富汗、巴基斯坦、印度、尼泊尔、孟加拉国、哈萨克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦和中国10 个国家。结合这些国家确定的优先发展目标，依照重视程度排列统计得出（图 5）：SDG 3（良好的健康和福祉）、SDG 1（消除贫困）、SDG 5（性别平等）、SDG 9（工业、创新和基础设施）和 SDG 2（消除饥饿）是该区域各国家重点关注的 5 个可持续发展目标。这些目标绝大多数与联合国千年发展目标（MDGs）相关联，与人类的基本需求密切相关，这反映出该地区在实现 MDGs 过程中仍有未完成的目标需要在 2015—

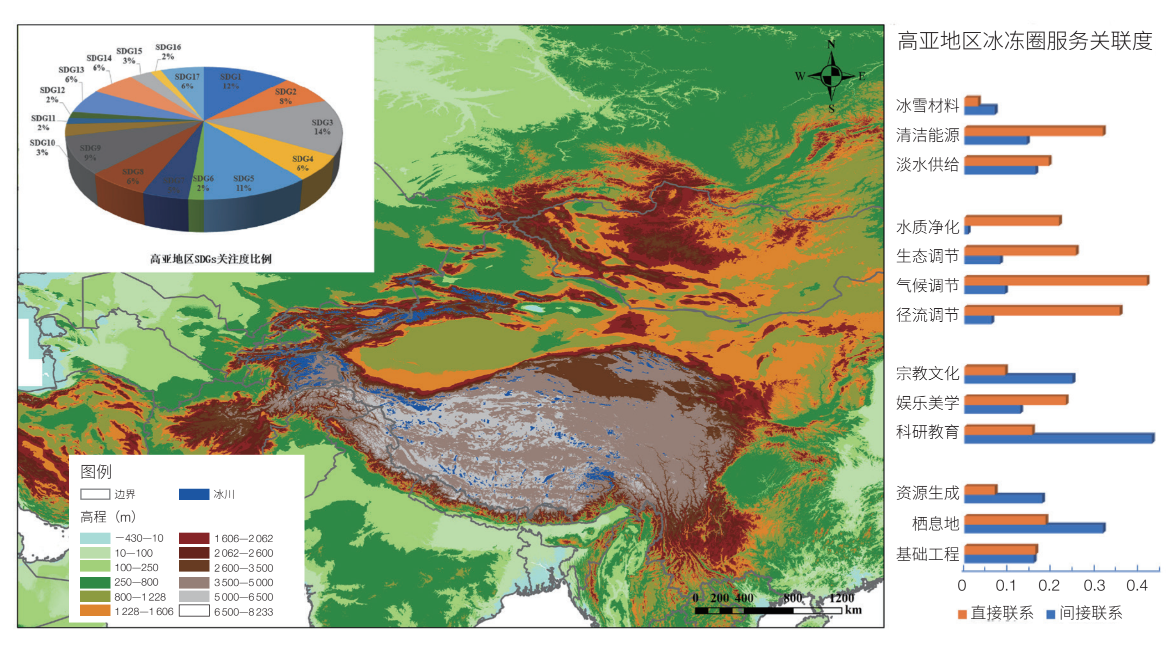


图 5 “亚洲水塔”对实现可持续发展目标的贡献

2030年实现。此外，SDG 4（优质教育）、SDG 7（廉价和清洁能源）、SDG 8（体面工作和经济增长）、SDG 13（气候行动）、SDG 14（水中生物）和SDG 17（促进实现目标的伙伴关系）同样受到广泛关注，这些目标涵盖范围更广，包括了社会需求、经济发展、生态环境三大方面，属于第二优先级目标，由此反映出社会生态经济协同发展逐渐受到该地区的广泛关注。

4.2 "亚洲水塔"与高亚地区可持续发展目标之间的联系

当前，全球气候变暖背景下高亚地区的升温幅度度达到全球平均的2倍[28]，维持高亚地区冰冻圈的可持续发展受到世界各国的广泛关注。因此，应从社会、生态、经济、文化等方面建立和完善相应的科研和知识体系，探索实现受冰冻圈影响地区实现可持续发展目标的路径。

前期的工作中我们首次尝试量化除SDG 16（和平、正义和强大的机构）和SDG 17（促进目标实现的伙伴关系）之外的其余15个可持续发展目标与冰冻圈服务之间的联系[29]。在此基础上，本文进一步从直接和间接联系两方面分析了包括"亚洲水塔"在内的冰冻圈服务和高亚地区特别关注的可持续发展目标之间的相互联系（图5）。冰冻圈的供给和调节服务更多情况下直接作用于具体的可持续发展目标，而文化和调节服务则主要是间接对可持续发展目标的实现产生影响。

4.2.1 高亚地区冰冻圈的供给和调节服务

"亚洲水塔"的水资源供给和水力发电是高亚地区重要的社会、生态和经济基础。雅鲁藏布江、印度河、恒河、阿拉尔、巴尔喀什、塔里木和楚伊塞克—库尔河等流域稳定可靠的淡水供水对不断增长的人口和经济发展具有重要意义[10]。其中，高亚地区的冰川融水为该地区的灌溉农田提供大量水资源，作为传统的农业生产区，印度河、恒河流域的主要农作物对冰川融水的依赖度很高。持续稳定的冰冻圈融水对实现SDG 1（消除饥饿）和SDG 2（消除贫困）目标具有明显的直接和间接影响。同时，促进地区农业经济的发展，将进而支持实现良好健康和福祉、地区经济、社会资源和就业平等。

高亚地区冰川融水对径流补给的作用主要体现在干旱季节的融水调控。冰川主要通过水资源季节性延迟调节区域水资源供给，因此冰川储量减少会降低区域抗旱服务能力。此外，冰川融水的季节性改变会降低水资源利用效率，同时也会增加洪水等灾害的发生频率。虽然增加水资源调控往往可以通过水利基础设施，如大型水库建设等，尤其是对于年内径流变差明显的干旱半干旱流域，但这些会进一步增加社会经济和环境成本。所有这些对实现2030年的可持续发展目标会产生明显的制约作用。

4.2.2 高亚地区冰冻圈的文化服务

"亚洲水塔"在高亚地区形成的冰冻圈不但提供水资源，同时也形成了冰冻圈文化服务，与可持续发展目标的直接联系更体现在旅游文化方面。高山滑雪、攀登世界第一高峰——珠穆朗玛峰成为当前青藏高原旅游热点，同时也是尼泊尔和我国西藏自治区的重要旅游经济收入。由于环境恶劣，当地人无法进行传统的经济生产，珠峰向导成为青藏高原山地民族夏尔巴人的主要工作和收入来源。冰冻圈所提供的这种文化服务在消除贫困、消除饥饿、促进当地人就业、实现良好福祉等方面也发挥着重要作用。

此外，更多的文化服务是间接影响可持续发展目标的具体目标，这需要理解冰冻圈服务过程中的中间环节。例如，对高山神灵的崇拜等进一步衍生和发展出来的宗教信仰、生活文化等，这些和冰冻圈的支持服务一道形成了高原冰冻圈特有的人文和自然生态环境。体验当地生活、消除压力、感受高原的人文环境，受到世界各地人民的向往和追捧，这些自然及人文资源禀赋是实现该地区2030年在SDG 1（消除贫

困）、SDG 2（消除饥饿）、SDG 8（促进当地人的就业和经济增长），以及增强全球气候变化的意识和责任等其他相关可持续发展目标上的重要基础。

4.2.3 高亚地区冰冻圈的支持服务

冰冻圈支持服务和生态系统支持服务类似，是作为中间产物为人类提供福祉。冰冻圈的支持服务与可持续发展目标具有直接和间接联系。例如，高亚地区低温环境为冰川积雪的发育提供了理想的自然环境，这些支持服务间接支撑了冰冻圈供给、调节和文化服务。与之相反，特殊的生态环境条件为珍稀动植物提供了物种生存和繁衍的场所，直接和SDG 15（陆地生物保护）密切相关，进而形成环高亚物种多样性的热点地区[30]。

5 结语

“亚洲水塔”为高亚及周边地区提供了人类赖以生存的重要水源，是该地区人类社会经济活动得以发展的最根本的基础。气候变化虽然会带来由于气候变暖供水增多的短期利益，但长期来看会导致“亚洲水塔”的退化，进而极有可能引起水资源供应的短缺。这不但影响经济发展，也会带来资源争端甚至社会不稳定的局面。实际上，“亚洲水塔”不但提供水资源保障社会经济发展，调节径流增加抵御干旱能力，同时“亚洲水塔”所形成的冰冻圈也是一种文化资源。所有这些在高亚地区的可持续发展中以及在推进联合国可持续发展目标实现的过程中，“亚洲水塔”起到极为关键的作用。

参考文献

1 Beniston M. Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts. Climatic Change, 2003, 59(1-2): 5-31.

2 Xu X, Lu C, Shi X, et al. World water tower: An atmospheric perspective. Geophysical Research Letters, 2008, 35(20): L20815.

3 Chen X, Nordhaus W D. Using luminosity data as a proxy for economic statistics. PNAS, 2011, 108(21): 8589-8594.

4 姜彤, 赵晶, 曹丽格, 等. 共享社会经济路径下中国及分省经济变化预测. 气候变化研究进展, 2018, 14(1): 50-58.

5 姜彤, 王艳君, 袁佳双, 等. “一带一路”沿线国家2020—2060年人口经济发展情景预测. 气候变化研究进展, 2018, 14(2): 155-164.

6 Kraaijenbrink P D A, Bierkens M F P, Lutz A F, et al. Impact of a global temperature rise of 1.5 degrees Celsius on Asia’s glaciers. Nature, 2017, 549(7671): 257-260.

7 Huss M, Hock R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. Nature Climate Change, 2018, 8(2): 135-140.

8 Immerzeel W W, Pellicciotti F, Bierkens M F P. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds. Nature Geoscience, 2013, 6(9): 742-745.

9 Radić V, Hock R. Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sea-level rise. Nature Geoscience, 2011, 4(2): 91-94.

10 Biemans H, Siderius C, Lutz A F, et al. Importance of snow and glacier meltwater for agriculture on the Indo-Gangetic Plain. Nature Sustainability, 2019, 2(7): 594-601.

11 Lutz A F, Immerzeel W W, Shrestha A B, et al. Consistent increase in High Asia’s runoff due to increasing glacier melt and precipitation. Nature Climate Change, 2014, 4(7): 587-592.

12 Pritchard H D. Asia’s shrinking glaciers protect large populations from drought stress. Nature, 2019, 569(7758): 649-654.

13 Laghari A N, Vanham D, Rauch W. The Indus basin in the framework of current and future water resources management. Hydrology and Earth System Sciences, 2012, 16(4): 1063.

14 Immerzeel W W, van Beek L P H, Bierkens M F P. Climate

change will affect the Asian Water Towers. Science, 2010, 328(5984): 1382-1385.

15 International Monetary Fund. Issues in Managing Water Challenges and Policy Instruments: Regional Perspectives and Case Studies. [2015-06-01]. https://www.imf.org/external/pubs/ft/sdn/2015/sdn1511tn.pdf?hootPostID=878.

16 National Research Council. Himalayan Glaciers: Climate Change, Water Resources, and Water Security. Washington DC: The National Academies Press, 2012.

17 Zarfl C, Lumsdon A E, Berlekamp J, et al. A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences, 2015, 77(1): 161-170.

18 World Economic Forum. The Global Risks Report 2016. [2016-01-14]. http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf.

19 Food and Agriculture Organization of the United Nations. AQUASTAT—FAO’s global information system on water and agriculture. [2019-10-14]. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.

20 Schleussner C F, Donges J F, Donner R V, et al. Armed-conflict risks enhanced by climate-related disasters in ethnically fractionalized countries. PNAS, 2016, 113(33): 9216-9221.

21 效存德, 苏勃, 王晓明, 等. 冰冻圈功能及其服务衰退的级联风险. 科学通报, 2019, 64(19): 1975-1984.

22 Su B, Xiao C D, Chen D L, et al. Cryosphere services and human well - being, Sustainability, 2019, 11: 4365.

23 Leemans R, de Groot R. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington DC: Island Press, 2003.

24 Trucost ESG Analysis. Natural capital at risk: The top 100 externalities of business. [2013-04-15]. https://www.trucost.com/publication/natural-capital-risk-top-100-externalities-business/.

25 Andermann C, Longuevergne L, Bonnet S, et al. Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan rivers. Nature Geoscience, 2012, 5(2): 127.

26 Yatagai A, Kamiguchi K, Arakawa O, et al. APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(9): 1401-1415.

27 Sustainable Development Knowledge Platform. Voluntary National Reviews Database. [2019-10-14]. https://sustainabledevelopment.un.org/vnrs/.

28 IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2014.

29 Wang X M, Liu S W, Zhang J L. A new look at roles of the cryosphere in sustainable development. Advances in Climate Change Research, 2019, 10(2): 124-131.

30 Brooks T M, Mittermeier R A, da Fonseca G A B, et al. Global biodiversity conservation priorities. Science, 2006, 313(5783): 58-61.

Socioeconomic Significance of Asian Water Tower in High Asia Region

WANG Xiaoming[1*] ZHANG Jinglin[1,2] LIU Shiwei[1,2] LI Chenyu[1,2] KONG Weiming[1,2]

(1 State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Asian Water Tower (AWT) provides population in High Asia and broader areas in downstream with critical water resource, creating significant socioeconomic values. It is also unreplaceable in regional economic development in central and south Asia. Moreover, the associated region is an example of regional development to share the common future in Road and Belt Initiatives. This article shed a light on and provides various examples about AWT's socioeconomic effects in High Asia Region. Not only does it support the regional development, but also the competition for AWT's water resources due to its increasing scarcity in dryland would potentially bring in conflicts. That would become even more uncertain and challenging when the deterioration of AWT is considered as a result of climate change. It would then fundamentally change the future development in High Asia Region. Therefore, it is urgent to respond and adapt to the change by developing sustainable pathways. This article further address the Sustainable Development Goals (SDGs) that are most concerned by the countries in High Asia Region, and illustrate the relations of the cryosphere services of AWT to the implementation of SDGs.

Keywords Asian Water Tower (AWT), High Asia, socioeconomic effects, Sustainable Development Goals (SDGs)



王晓明 中国科学院西北生态环境资源研究院研究员，中国科学院"率先行动百人计划"学术帅才（A类）。研究领域为气候适应和可持续发展研究。曾为澳大利亚联邦科工研究组织（CSIRO）资深首席科学家。E-mail: xiaomingwang@lzb.ac.cn

WANG Xiaoming Professor at Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences (CAS), supported by CAS Pioneer Hundred Talents Program (Type A). His current research includes cryosphere service, climate adaptation, and sustainable development. He was a senior principal scientist of Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation in Australia.
E-mail: xiaomingwang@lzb.ac.cn

* Corresponding author

■责任编辑：张帆

参考文献（双语版）

1 Beniston M. Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts. Climatic Change, 2003, 59(1-2): 5-31.

2 Xu X D, Lu C G, Shi X H, et al. World water tower: An atmospheric perspective. Geophysical Research Letters, 2008, 35(20): L20815.

3 Chen X, Nordhaus W D. Using luminosity data as a proxy for economic statistics. PNAS, 2011, 108(21): 8589-8594.

4 姜彤, 赵晶, 曹丽格, 等. 共享社会经济路径下中国及分省经济变化预测. 气候变化研究进展, 2018, 14(1): 50-58.

Jiang T, Zhao J, Cao L G, et al. Projection of national and provincial economy under the shared socioeconomic pathways in China. Climate Change Research, 2018, 14(1): 50-58. (in Chinese)

5 姜彤, 王艳君, 袁佳双, 等. “一带一路”沿线国家2020—2060年人口经济发展情景预测. 气候变化研究进展, 2018, 14(2): 155-164.

Jiang T, Wang Y J, Yuan J S, et al. Projection of population and economy in the Belt and Road countries (2020—2060). Climate Change Research, 2018, 14(2): 155-164. (in Chinese)

6 Kraaijenbrink P D A, Bierkens M F P, Lutz A F, et al. Impact of a global temperature rise of 1.5 degrees Celsius on Asia’s glaciers. Nature, 2017, 549(7671): 257-260.

7 Huss M, Hock R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. Nature Climate Change, 2018, 8(2): 135-140.

8 Immerzeel W W, Pellicciotti F, Bierkens M F P. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glacierized watersheds. Nature Geoscience, 2013, 6(9): 742-745.

9 Radić V, Hock R. Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sea-level rise. Nature Geoscience, 2011, 4(2): 91-94.

10 Biemans H, Siderius C, Lutz A F, et al. Importance of snow and glacier meltwater for agriculture on the Indo-Gangetic Plain. Nature Sustainability, 2019, 2(7): 594-601.

11 Lutz A F, Immerzeel W W, Shrestha A B, et al. Consistent increase in High Asia’s runoff due to increasing glacier melt and precipitation. Nature Climate Change, 2014, 4(7): 587-592.

12 Pritchard H D. Asia’s shrinking glaciers protect large populations from drought stress. Nature, 2019, 569(7758): 649-654.

13 Laghari A N, Vanham D, Rauch W. The Indus basin in the framework of current and future water resources management. Hydrology and Earth System Sciences, 2012, 16(4): 1063-1083.

14 Immerzeel W W, van Beek L P H, Bierkens M F P. Climate change will affect the Asian water towers. Science, 2010, 328(5984): 1382-1385.

15 International Monetary Fund. Issues in Managing Water Challenges and Policy Instruments: Regional Perspectives and Case Studies. [2015-06-01]. https://www.imf.org/external/pubs/ft/sdn/2015/sdn1511tn.pdf?hootPostID=878.

16 National Research Council. Himalayan Glaciers: Climate Change, Water Resources, and Water Security. Washington DC: The National Academies Press, 2012.

17 Zarfl C, Lumsdon A E, Berlekamp J, et al. A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences, 2015, 77(1): 161-170.

18 World Economic Forum. The Global Risks Report 2016. [2016-01-14].http:// www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf.

19 Food and Agriculture Organization of the United Nations. AQUASTAT—FAO’s global information system on water and agriculture. [2019-10-14]. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.

20 Schleussner C F, Donges J F, Donner R V, et al. Armed-conflict risks enhanced by climate-related disasters in ethnically fractionalized countries. PNAS, 2016, 113(33): 9216-9221.

21 效存德, 苏勃, 王晓明, 等. 冰冻圈功能及其服务衰退的级联风险. 科学通报, 2019, 64(19): 1975-1984.

Xiao C D, Su B, Wang X M, et al. Cascading risks to the deterioration in cryospheric functions and services. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(19): 1975-1984. (in Chinese)

22 Su B, Xiao C D, Chen D L, et al. Cryosphere services and human well—being, Sustainability, 2019, 11: 4365.

23 Leemans R, de Groot R. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well—being: A Framework for Assessment. Washington DC: Island Press, 2003.

24 Trucost ESG Analysis. Natural capital at risk: The top 100 externalities of business. [2013-04-15]. https://www.trucost.com/publication/natural-capital-risk-top-100-externalities-business/.

25 Andermann C, Longuevergne L, Bonnet S, et al. Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan rivers. Nature Geoscience, 2012, 5(2): 127-132.

26 Yatagai A, Kamiguchi K, Arakawa O, et al. APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(9): 1401-1415.

27 Sustainable Development Knowledge Platform. Voluntary National Reviews Database. [2019-10-14]. https://sustainabledevelopment.un.org/vnrs/.

28 IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2014.

29 Wang X M, Liu S W, Zhang J L. A new look at roles of the cryosphere in sustainable development. Advances in Climate Change Research, 2019, 10(2): 124-131.

30 Brooks T M, Mittermeier R A, da Fonseca G A B, et al. Global biodiversity conservation priorities. Science, 2006, 313(5783): 58-61.